

IMPACT HAMMER CALIBRATION

Šimon Bilík

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xbilik05@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Petr Beneš

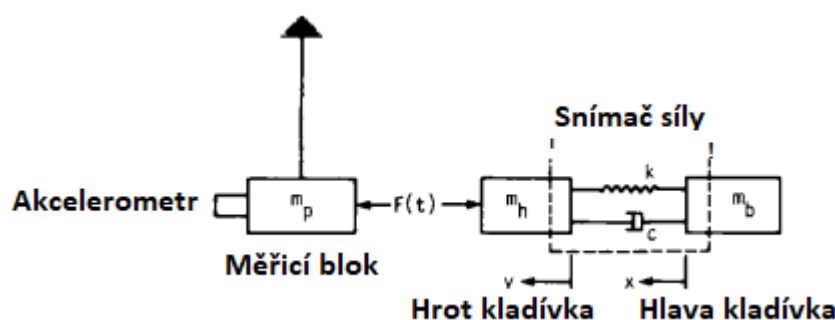
E-mail: benesp@feec.vutbr.cz

Abstract: This paper describes the construction of the calibration station for the impact hammer Endevco 2302-5 and it explains the influence of the impact mass on the calibration process. Based on the previous bachelor thesis [1] it also explains the origin of the oscillations on the accelerometer output signal described there and it suggests the improvements of the calibration process.

Keywords: impact hammer, calibration, accelerometers

1 ÚVOD

Rázové kladívko, nebo také modální kladívko (v anglické literatuře impact hammer, či modal hammer), se používá jako zdroj rázového buzení při modální analýze, kdy na základě známého vstupního impulsu v jednom bodě (získaného právě jako výstup rázového kladívka) a změřeného výstupu v jednom, nebo více bodech neznámého systému, můžeme popsat frekvenční vlastnosti tohoto systému. Rázové kladívko je velmi jednoduchý a flexibilní zdroj rázu a je vhodné pro použití jak v laboratorních, tak i v provozních podmínkách. Vzhledem k možným změnám citlivosti rázového kladívka v čase a vlivu použitých hrotů je nutné provádět v pravidelných intervalech jeho kalibraci. [2]



Obrázek 1: Model kalibrace rázového kladívka [2]

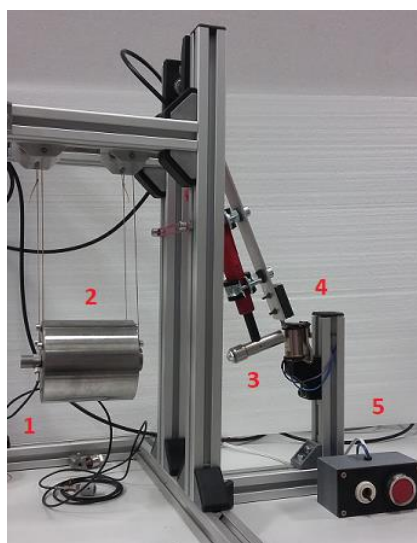
Možný model pro popis kalibrace rázového kladívka popsáný v [3] a [4] je zobrazen na obr. 1. Samotná kalibrace se provádí porovnáním signálu z kladívka, které je reprezentováno hmotou hrotu a seismické hmoty snímače m_h s hmotou kladívka bez seismické hmoty m_b a signálem z kalibrovaného akcelerometru, umístěném na volně uloženém měřicím bloku o hmotnosti m_p . Konstanty c a k pak reprezentují tuhost a tlumení snímače zrychlení v rázovém kladívku. S využitím tohoto modelu, známé napět'ové citlivosti použitého akcelerometru S_a , jeho výstupního napětí E_a a výstupního napětí kladívka E_f , lze odvodit vztah pro kalibrovanou napět'ovou citlivost kladívka S_f^* : [3]

$$S_f^* = \frac{E_f S_a}{E_a m_p} \quad (1)$$

2 PŘÍPRAVEK PRO KALIBRACI RÁZOVÉHO KLAĐÍVKA

Vzhledem k problematické opakovatelnosti ručního úderu kladívkem na kovadlinku bloku a dalším možným nepřesnostem jako šikmý úder, nebo obtížně definovatelná síla úderu, bylo rozhodnuto o vytvoření kalibračního přípravku s kyvadlovým pohybem kladívka, který je znázorněn na obr. 2. Koncept této myšlenky byl ověřen na prototypu postaveném ze stavebnice Merkur, na kterém byl otestován způsob závěsu kladívka, jeho brždění před dopadem a zamezení dvojitého dopadu. Tyto jevy byly hlavním problémem podobného zařízení popsaného v [1].

Pro vytvoření kalibračního přípravku byl v první řadě zrekonstruován závěs měřicího bloku, který byl vytvořen v [1]. Tento závěs je vytvořen z hliníkových profilů a je tvořen rámem, na kterém jsou připevněna dvě vysunutá závěsná ramena. Pro tato ramena byly vytvořeny jednoduché konzolky z hliníkového plechu, na které se zavěšuje měřicí blok (2) s upevněným akcelerometrem (1) a které umožňují jeho posun při nastavování. Použité akcelerometry byly založeny na piezoelektrickém principu a konkrétně se jednalo o typy Aura 128, KD-32 a KD-37.



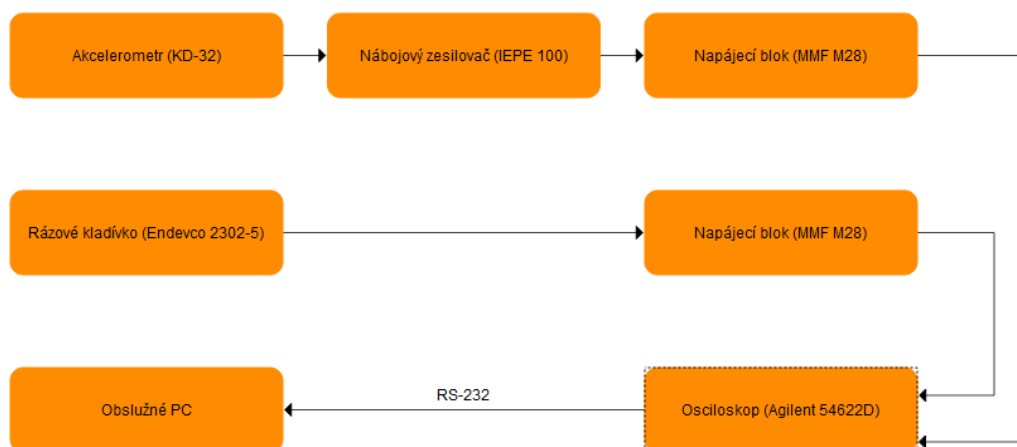
Obrázek 2: Pohled na kyvadlový kalibrační přípravek a jeho spouštěcí mechanismus

Vlastní přípravek tvoří dvě kolmé hliníkové lišty, na kterých jsou připevněny úchyty ložisek. Mezi těmito ložisky je uložena pohyblivá ocelová osa, do které je připevněno vahadlo z plochého hliníkového profilu. Na vahadle je do instalátérských pogumovaných objímek připevněno rázové kladívko (3), jehož orientaci je možné upravit povolením šroubů objímek. Celá konstrukce je připevněna k rámu závěsu, což přispívá k jeho větší tuhosti.

Pro dosažení větších sil úderu je na konec vahadla připevněno ocelové závaží, jehož hmotnost lze v případě potřeby upravit změnou počtu plochých profilů. Zpomalení kladívka před dopadem a zamezení dvojitého dopadu zajišťují zkroucené gumičky umístěné na nosných profilech přípravku – toto řešení bude v budoucnu nahrazeno nastavitelnou gumovou zarážkou.

Aby se zamezilo vlivu operátora při spouštění a aby během měření byla zachována vždy stejná spouštěcí výška vahadla, byla přidána elektromechanická spoušť (4), která je tvořena cívkou pomocného relé RP100, do jehož kotvy se uchycuje jazýček připevněný na vahadle. Spouštění zajišťuje ovladač s odrušovacím obvodem (5), který potlačuje rušivý elektromagnetický puls vzniklý při rozepnutí cívky.

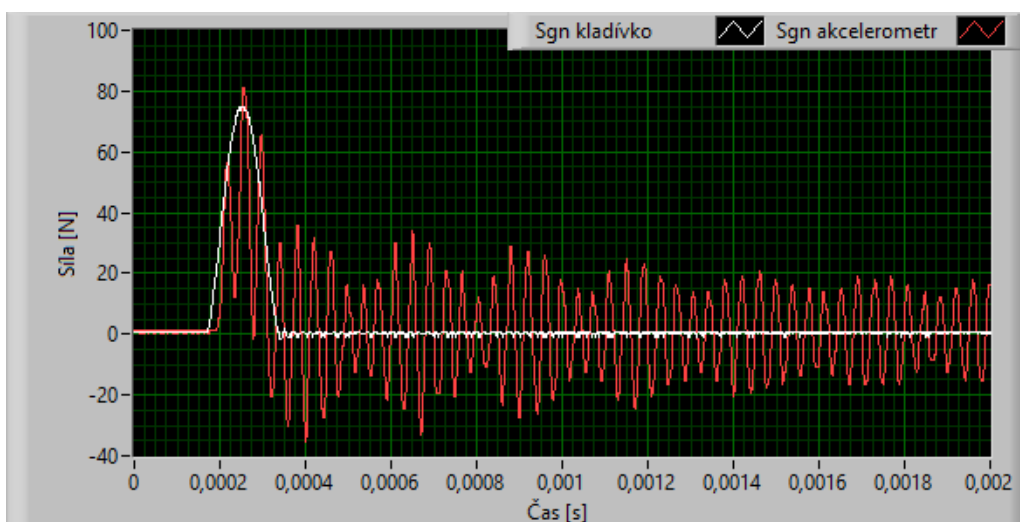
Pro obsluhu procesu kalibrace byl vytvořen měřicí program v prostředí LabVIEW 2015, který zajišťuje ukládání a zpětné vyhodnocení dat. Vlastní měření zajišťuje osciloskop Agilent 54622D, na jehož vstup je připojeno rázové kladívko a výstup akcelerometru. Samotné měření se musí kvůli větší přesnosti 10x opakovat, výstupní citlivost rázového kladívka se pak určí z průměrovaného signálu. Blokové schéma zapojení kalibračního pracoviště je znázorněno na obr. 3.



Obrázek 3: Blokové schéma zapojení kalibračního pracoviště

2.1 ZÁKMITY NA VÝSTUPU AKCELEROMETRU A JEJICH PŘÍČINA

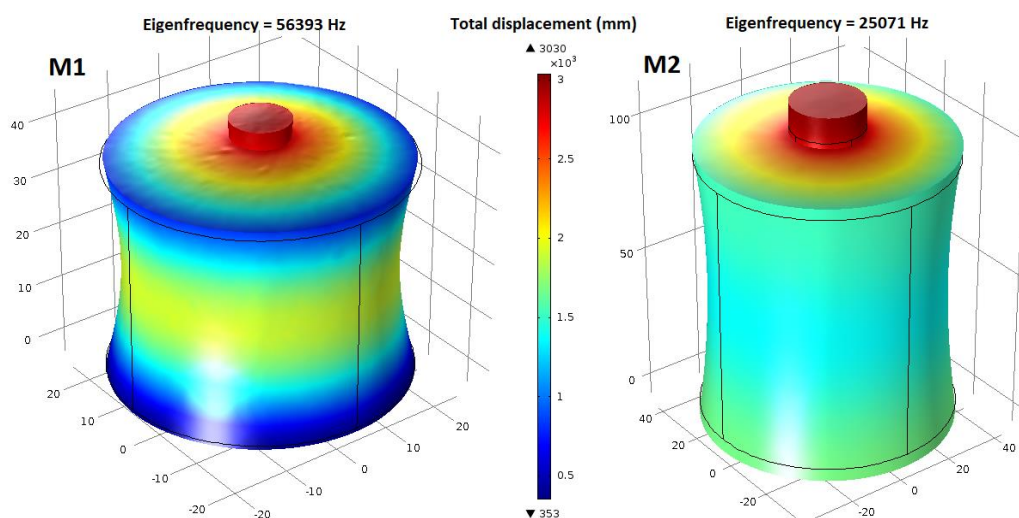
Při provádění měření byl za určitých podmínek pozorován vznik silných zákmity na výstupu z akcelerometru, jejichž příčinu se v práci [1] nezdařilo objasnit. Jak je patrné z obr. 4, zákmity jsou velmi silné a do procesu kalibrace vnášejí velkou nejistotu – z tohoto důvodu byl proveden rozbor jejich možných příčin.



Obrázek 4: Rušení na výstupním signálu akcelerometru KD-32

Jako možné příčiny byly uvažovány vliv použitého akcelerometru, jeho upevnění, síla úderu kladívka a materiál jeho hrotu a vliv měřicího bloku. Jednotlivé vlivy byly postupně zkoumány, až bylo analýzou amplitudového spektra výstupního signálu akcelerometru zjištěno, že příčinou je pravděpodobně měřicí blok. Tohoto závěru bylo dosaženo na základě výrazných špiček v amplitudovém spektru na frekvenci okolo 25 kHz, které se při použití daného měřicího bloku objevovaly nezávisle na použitém akcelerometru a při použití druhého menšího bloku se neobjevovaly vůbec. Zkoušení různých momentů utažení potom dokázalo, že slabší připevnění akcelerometru k měřicímu bloku vnášejí do systému přídavné tlumení, které je za cenu snížené citlivosti schopno zákmity částečně potlačit.

Pro potvrzení této hypotézy byl za pomoci pracovníků Ústavu automatizace v simulačním programu COMSOL Multiphysics vytvořen mechanický model obou měřicích bloků (pracovně nazvaných M1 a M2), jehož výsledky potvrdily významné prodloužení inkriminovaného bloku M2 právě na frekvenci okolo 25 kHz. Výsledky simulace zachycuje obr. 5.



Obrázek 5: Simulace rezonancí měřicích bloků

Vzhledem k tomu, že měření probíhají až do frekvencí 50 kHz, bude nutné vliv rezonujícího měřicího bloku potlačit. Jako možný způsob byla zkoušena filtrace signálu pásmovou zádrží a identifikace přenosu samotného bloku, které přinesly slibné výsledky - výzkum v této oblasti bude nadále pokračovat. Vliv ostatních prvků měřicího řetězce na tyto kmity se až na slabou rezonanci akcelerometru neprokázal.

3 ZÁVĚR

V rámci diplomové práce bylo vytvořeno nové kalibrační pracoviště pro sekundární kalibraci rázových kladívek, které odstranilo nedostatky přípravku realizovaného dříve. K hlavním výhodám nového přípravku patří zejména jeho větší pevnost, modifikovatelnost a zamezení dvojitého dopadu. Současně byl vytvořen obslužný program kalibrační procedury, který proces kalibrace automatizuje. Byl identifikován zdroj zákmitů na výstupním signálu akcelerometru použitého pro kalibraci.

Další vývoj této práce bude směřovat k vývoji pokročilejšího kalibračního přípravku s krokovým motorem a k potlačení zákmitů vznikajících na jednom z měřicích bloků. Součástí práce bude i stanovení všech zdrojů nejistot v měřicím řetězci a automatizovaná tvorba kalibračního protokolu.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu doc. Ing. Petru Benešovi, Ph.D. za jeho cenné rady při tvorbě tohoto článku a také Ing. Jakubovi Krejčímu za vytvoření simulací použitých měřicích bloků.

REFERENCE

- [1] ŠAFÁŘ, J. *Kalibrace rázového kladívka*. Brno, 2015. Bakalářská práce. Vysoké Učení Technické v Brně. Vedoucí práce Beneš Petr, doc. Ing., Ph.D.
- [2] BILOŠOVÁ, Alena. *VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ, TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA. Aplikovaný mechanik jako součást týmu konstruktérů a vývojářů: Modální zkoušky*. Ostrava, 2012.
- [3] Selecting the correct modal hammer. In: *Ask the experts* [online]. Orange County: Meggit, b.r. [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: <https://endevco.com/ask-the-experts/selecting-the-correct-modal-hammer/>
- [4] DALLY, J.W., RILEY, W.F. - *Instrumentation for Engineering Measurements*. John Wiley and Sons, New York, 1993.